

Векслер Ю. Г., Ткачук Г. А., Котель Е. А., Трапезникова Н.А.
ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
им. первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
г. Екатеринбург
g.shardakova@mail.ru

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ
ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ТИПА $Ti(C,N)$ и $(Ti,Zr)(C,N)$
ДЛЯ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА
ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Преобладающим видом газоперекачивающих агрегатов (ГПА) являются агрегаты для линейных компрессионных станций (КС). При проектировании газопровода и его КС имеется выбор между поршневыми ГПА (газомотокомпрессорами) и центробежными нагнетателями (ЦН) с электро- или газотурбинным приводом. Наибольшее распространение имеют газотурбинные КС с приводом ЦН от стационарных газотурбинных установок (ГТУ) или конвертированных газотурбинных двигателей (ГТД).

Географическое расположение этих ГТУ и ГТД обуславливает целый ряд поражающих факторов деталей, так называемой холодной части, в частности рабочих и направляющих лопаток компрессора.

Компрессорные лопатки ГТД являются одними из самых тяжело-нагруженных деталей. Здесь в качестве основных факторов повреждаемости одновременно выступают: газо-абразивный износ (ГАИ), многоцикловое усталостное трещинообразование, коррозия и т. д. При этом необходимы высокие статические прочностные свойства при повышенных температурах. Теоретических работ в области защиты лопаток компрессора много. Однако при первом же рассмотрении их промышленного внедрения как в России, так и за рубежом, становится очевидным огромный разрыв между теорией и практикой.

Наиболее распространенными материалами, идущими на изготовление лопаток компрессора являются мартенситостареющие стали и титановые сплавы. Статистические расчеты, проведенные на ОАО «Уральский завод гражданской авиации», показывают, что после межремонтного цикла эксплуатации в песчаных условиях до 80 % лопаток отбраковываются по уходу геометрических размеров пера. В то же время из пробных партий лопаток с простыми нитридными покрытиями на основе TiN в брак уходит только около 20 %; а с многокомпонентными покрытиями типа $(Ti,Zr)N$ – всего 5 %.

Естественно, такая статистика обуславливает особое внимание к все-стороннему исследованию комплексной защиты лопаток компрессора от перечисленных выше факторов.

Ионно-плазменные моно нитридные покрытия на основе TiN или ZrN, в качестве износостойких, пытаются использовать давно. При этом главной задачей является разработка технологии их нанесения конкретно на лопатки в силу возникновения порой неразрешимых на первый взгляд вопросов. Например, увеличение толщины нитридного слоя повышает износостойкость композиции, но неизбежно снижает предел ее усталостной прочности; введение тонких прослоек между основой и покрытием – в качестве анодной защиты от коррозии – может приводить к снижению износостойкости; повышение усталости за счет ионной имплантации может снижать пределы текучести и длительной прочности и т. д.

Таким образом, состав и структура покрытий должны быть тщательно сбалансированы.

С другой стороны, для оценки всего комплекса свойств композиции «сплав-покрытие» необходима экспериментальная база, позволяющая проводить испытания при одновременном воздействии сразу нескольких факторов, т. е. в условиях максимально приближенных к эксплуатационным. По нашим и другим оценкам, именно отсутствие надлежащей экспериментальной базы часто становится главным препятствием на пути внедрения дорогостоящих наукоемких разработок.

На сегодняшний день уже разработана экспериментальная установка для испытания лопаток компрессора на ГАИ, в том числе при повышенных температурах, а также в условиях коррозионной среды (в парах NaCl). Получены первые результаты, обосновывающие необходимость использования именно титан-циркониевых нитридных покрытий. Определены верхние температурные пределы работоспособности покрытий, в том числе в условиях коррозии.

Разработана также методика ударных испытаний, не имеющая аналогов и алгоритмов расчета в применении к лопаткам компрессора. Между тем метод скоростных ударных воздействий (с ускорением до 10^4 м/с^2) позволяет прогнозировать изменение свойств лопаток на протяжении всего межремонтного цикла эксплуатации.

Разрабатывается установка гравитационного типа механических испытаний на изгиб. Здесь возможны испытания на кратковременную и длительную прочность, на ползучесть, на термоциклическую ползучесть, в

том числе в среде пара или NaCl. Температура на образце может достигать 800 °С. Создана установка для испытаний на циклическую ползучесть. К ней необходимо смонтировать систему нагрева до ~500 °С. Здесь возникают конструктивные трудности, связанные с теплоизоляцией вибратора.

Есть еще ряд начатых разработок, которые необходимо довести до внедрения.